

2002 P 112 75 pet
34

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 89400325.0

51 Int. Cl.⁴: G 01 B 11/24
 G 05 B 19/42

22 Date de dépôt: 06.02.89

30 Priorité: 09.02.88 FR 8801897
 43 Date de publication de la demande:
 16.08.89 Bulletin 89/33
 84 Etats contractants désignés:
 AT BE DE ES FR GB GR IT NL SE

71 Demandeur: VISION 3D S.A.
 Immeuble Le Prologue Voie NC1 Labège Innopole
 F-31320 Castanet Tolosan (FR)

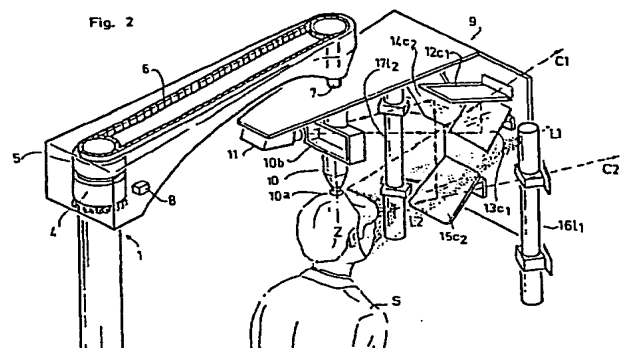
72 Inventeur: Brunet, Michel
 34 rue de la Bourdette
 F-31130 Balma (FR)

Cosnard, Eric
 Chemin de Limes Lapeyrouse Fossat
 F-31180 Castelmaurou (FR)

74 Mandataire: Barre, Philippe
 Cabinet Barre-Gatti-Laforgue 95 rue des Amidonniers
 F-31069 Toulouse Cédex (FR)

54 Procédé de numérisation de la surface d'un objet tridimensionnel et appareil de relevé en vue de sa mise en oeuvre.

57 L'invention concerne un procédé et un appareil pour la numérisation de la surface d'un objet tridimensionnel. L'appareil est du type comprenant un système d'éclairage laser et un dispositif vidéo. Selon l'invention, le dispositif vidéo est adapté pour filmer l'objet de deux points de vue différents (C₁, C₂), l'un en plongée, l'autre en contreplongée, et le système d'éclairage comprend deux sources (L₁, L₂) décalées latéralement par rapport aux points de vue du dispositif vidéo et situées à des hauteurs différentes pour éclairer l'objet, l'un en plongée, l'autre en contreplongée, en vue de former deux traces lumineuses sur celui-ci. Une partition est réalisée sur les signaux vidéo issus du dispositif vidéo pour distinguer les informations correspondant à chacune des deux traces. L'invention permet de relever de façon complète, sans partie masquée ou non apparente, les coordonnées de la surface d'un objet possédant des reliefs importants ou des parties fuyantes, tels qu'une tête ou un buste humain.



EP 0 328 443 A1

Description

PROCEDE DE NUMERISATION DE LA SURFACE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL ET APPAREIL DE RELEVÉ EN VUE DE SA MISE EN OEUVRE

L'invention concerne un procédé de numérisation de la surface d'un objet (ou sujet) tridimensionnel permettant d'engendrer des données numériques représentatives des coordonnées des points de cette surface dans un référentiel tridimensionnel. Elle vise un procédé d'acquisition du relief de l'objet à partir d'un éclairage structuré à faisceaux lamellaires, en particulier lasers, et d'un dispositif de saisie vidéo. Elle s'étend à un appareil de relevé adapté pour délivrer un signal vidéo représentatif de la surface de l'objet, ce signal pouvant être, soit numérisé en temps réel localement ou après télétransmission pour fournir le signal numérique précité, soit enregistré et numérisé ultérieurement au moment de son exploitation. L'invention vise tout particulièrement, mais non exclusivement, à réaliser le relevé d'une tête ou d'un buste humain notamment en vue d'une reproduction par usinage.

Depuis plusieurs années s'est développé un procédé de numérisation d'objets tridimensionnels qui consiste à former sur l'objet une trace lumineuse mettant en évidence une section de celui-ci, à filmer ledit objet au moyen d'un dispositif vidéo de façon à enregistrer l'image de cette trace et à balayer l'ensemble de la surface afin de former successivement des traces lumineuses sur des sections réparties sur la surface et d'en acquérir les coordonnées par leur observation vidéo. On pourra notamment se reporter aux brevets suivants qui concernent cette technique : FR 76.06176, FR 79.28885, FR 81.24418, WO 87/01194, EP 0163076, EP 0222498.

L'avantage d'un tel procédé par rapport à des procédés plus anciens tels que photogrammétrie, technique de moiré... réside essentiellement dans la simplicité et la rapidité d'extraction des coordonnées des points de la surface de l'objet à partir du signal vidéo issu du dispositif vidéo ; par exemple dans les procédés plus anciens ci-dessus évoqués, la restitution des coordonnées fait appel à des techniques lourdes et complexes, nécessitant généralement la présence d'un opérateur humain. Au contraire dans le procédé concerné par l'invention, chaque pixel activé du signal vidéo est directement représentatif des coordonnées d'un point de l'objet dans la trace lumineuse (coordonnées bidimensionnelles) et le traitement se cantonne à une codification numérique de ces pixels activés et à leur mémorisation associée à des informations relatives au mouvement de balayage de la surface (qui sont représentatives de la troisième coordonnée).

Toutefois, dans le cas de certains objets convexes ou d'objets ayant des reliefs accentués, les systèmes existants de mise en oeuvre du procédé sus-visé ne permettent pas d'acquérir de façon complète tous les points de l'objet et ne fournissent que des résultats partiels. Par exemple dans l'application à la numérisation d'une tête ou d'un buste, ces systèmes ne permettent de voir que le visage et laissent non apparents le dessous du menton et le crâne ; de plus, certaines parties du visage (ailes du nez, partie postérieure du maxillaire, oreilles) se trouvent masquées dans la plupart de ces systèmes antérieurs.

Il est à noter que certains brevets mentionnent la possibilité de prévoir plusieurs faisceaux lasers ou plusieurs caméras vidéo en vue d'enrichir les données issues du système. En particulier, la demande internationale WO 87/01194 décrit deux modes de réalisation dans lesquels un sujet est amené à tourner devant un éclairage lamellaire et un dispositif vidéo ; l'un de ces modes de réalisation comprend deux sources d'éclairage situées symétriquement de part et d'autre d'une caméra vidéo unique, l'autre une source d'éclairage unique et deux points de vue d'observation symétriques de part et d'autre de cette source. Ces dispositifs permettent de relever de façon satisfaisante la face du sujet, mais ne résolvent pas le problème des parties non apparentes (dessus de la tête, dessous du menton) ; de plus, les surfaces orthogonales à l'axe de rotation ou proches de cette direction sont relevées de façon très imprécise dans ces dispositifs (narines, renforcements des arcades...) et les résultats obtenus doivent être complétés manuellement lorsqu'il s'agit de les utiliser pour la confection d'une reproduction.

De plus, il convient d'indiquer que les brevets EP 0163076 et EP 0222498 évoquent la présence de plusieurs caméras ou de plusieurs sources d'éclairage autour de l'objet à numériser, mais dans les dispositifs visés, il n'y a pas rotation de l'objet par rapport aux caméras, et les caméras et sources sont agencées autour de l'objet dans le but de prendre en compte des parties différentes de celui-ci (face arrière, face avant, côté), parties qui resteraient invisibles puisqu'il n'y a pas de rotation de l'objet par rapport au système. Ces dispositifs ne résolvent pas les problèmes sus-évoqués.

L'invention vise un procédé perfectionné de numérisation fournissant simultanément une solution satisfaisante à l'ensemble des problèmes ci-dessus évoqués.

L'invention se propose en particulier de permettre une acquisition complète de la tête d'une personne en vue de permettre d'en effectuer une reproduction entièrement automatique.

Elle s'étend à un appareil pour la mise en oeuvre de ce procédé.

Le procédé de numérisation visé par l'invention a pour objectif d'engendrer un ensemble de données numériques représentatives des coordonnées des points de la surface d'un objet (ou sujet) tridimensionnel dans un référentiel tridimensionnel. Ce procédé est du type précité dans lequel on éclaire la surface de l'objet par des faisceaux lumineux lamellaires en vue de former des traces lumineuses sur ladite surface, on filme ledit objet au moyen d'un dispositif vidéo avec une parallaxe prédéterminée par rapport aux faisceaux lumineux en vue de délivrer un signal vidéo représentatif des coordonnées des points desdites traces lumineuses, on fait subir un mouvement relatif de rotation autour d'un axe à l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lumineux par

rapport à l'objet de façon à éclairer et filmer toute la surface de l'objet, on engendre une information, dite de position angulaire, représentative, pour chaque image, de la position angulaire correspondante de l'ensemble dispositif vidéo/faisceau lumineux par rapport à l'objet, et on convertit en données numériques les signaux vidéo représentatifs de chaque image et les informations de position angulaire desdites images. Le procédé conforme à la présente invention est caractérisé en ce que, en combinaison :

. l'on éclaire la surface de l'objet par au moins deux faisceaux lumineux selon des surfaces réglées coïncidant ou voisines avec des plans parallèles à l'axe de rotation ou passant par cet axe, lesdits faisceaux étant issus de sources géométriquement décalées le long de la direction de cet axe de rotation de façon que les axes des faisceaux forment avec l'axe de rotation des angles différents,

. l'on filme l'objet au moyen du dispositif vidéo, d'au moins deux points de vue différents géométriquement décalés le long de l'axe de rotation de façon que les angles de prises de vue correspondants (considérés par rapport audit axe de rotation) soient différents, en vue de délivrer des signaux vidéo correspondant auxdits points de vue,

. l'on numérise lesdits signaux vidéo en codant dans chaque ligne la position des pixels activés et l'on mémorise ces positions numérisées,

. l'on réalise, pour chaque image, une partition des positions numérisées en vue de distinguer les positions numérisées correspondant aux traces enregistrées par chaque faisceau,

. l'on engendre à partir des informations de position angulaire liées à chaque image et d'informations représentatives de la géométrie de l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lumineux, des informations dites spécifiques, attachées à chaque trace,

. et pour chaque image, l'on associe aux positions numérisées correspondant à chaque trace les informations spécifiques attachées à la trace considérée.

Ainsi, les caractéristiques essentielles du procédé de l'invention résident dans la combinaison des moyens ou caractéristiques suivants :

. d'une part, une rotation de l'objet par rapport au dispositif vidéo et sources d'éclairage (rotation connue en elle-même par le brevet WO 87/01194),

. d'autre part, un éclairage par deux faisceaux lamellaires (ou davantage) coopérant avec une observation vidéo de deux points de vue distincts (ou davantage),

. enfin, un agencement spécifique des faisceaux d'éclairage et des angles de prise de vue avec leur parallaxe et leur décalage angulaire par rapport à l'axe de rotation donnant des angles de plongée différents.

Comme on le comprendra mieux plus loin, ces caractéristiques combinées résolvent de manière satisfaisante le problème des zones non apparentes ou masquées et uniformisent la précision du relevé sur l'ensemble des zones de la surface.

Les informations représentatives de la géométrie de l'ensemble vidéo/faisceaux lumineux peuvent être constituées par des distances et des angles préalablement mesurés et stockés dans une mémoire. Toutefois, le procédé de l'invention conduit à combiner plusieurs point de vue et plusieurs faisceaux lumineux de sorte que la mesure des distances et angles devient lourde et requiert une très grande précision pour obtenir une bonne corrélation des informations numérisées.

Un autre objectif important de l'invention est de s'affranchir totalement de la géométrie physique du système, en combinant aux caractéristiques déjà définies une procédure originale dite de calibration qui permet d'obtenir des informations représentatives de la géométrie du système sans avoir à en mesurer les divers paramètres. Selon l'invention, cette procédure de calibration consiste :

. à réaliser préalablement la numérisation d'une mire de calibration substituée à l'objet, ladite mire présentant des reliefs de géométrie et de dimensions connues préalablement mémorisées,

. et à calculer des fonctions $x = R(u, v)$, $z = T(u, v)$ donnant les coordonnées métriques des points de chaque plan laser en fonction des colonnes et lignes de l'image correspondante, à partir des résultats de la numérisation précitée,

. les informations spécifiques attachées à chaque trace étant obtenues par l'application de ces fonctions.

Ainsi, les mesures de paramètre se réduisent à la simple définition (une fois pour toute) d'une mire de calibration, et à sa numérisation par le procédé de l'invention ; aucune mesure physique de paramètres géométriques (distance, angle) n'est plus à effectuer sur le système, ce qui représente en pratique un avantage considérable.

Par ailleurs, en particulier dans l'application au relevé d'une tête ou d'un buste humain, l'objet est de préférence prévu fixe et traversé par l'axe de rotation, et c'est l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lumineux qui sera amené à tourner autour dudit axe de rotation.

Les sources engendrant les faisceaux lumineux d'éclairage sont préférentiellement constitués par deux sources lasers lamellaires distinctes ; toutefois, d'autres types d'éclairages lamellaires peuvent le cas échéant être prévus (lumière visible ou non, obtenue par incandescence) provenant de deux dispositifs physiquement distincts (sources réelles) ou d'un dispositif unique formant les deux sources précitées (virtuelles) grâce à un système de miroirs. Le dispositif vidéo est bien entendu choisi spécifiquement sensible à la longueur d'onde de l'éclairage.

Ce dispositif vidéo peut lui-même être de tout type connu : dispositif à tube, "C.C.D.", etc...

Selon un premier mode de mise en oeuvre, l'on filme l'objet au moyen d'une caméra unique par réflexion sur deux jeux de miroirs, géométriquement agencés pour engendrer les deux points de vue précités et conditionner des chemins optiques de longueur voisine ; la caméra délivre alors un signal vidéo unique

représentatif de deux demi-images correspondant à chaque point de vue. Les jeux de miroirs sont de préférence agencés de sorte que les champs de vue soient sensiblement disjoints et correspondent, chacun, au demi-espace situé d'un côté et de l'autre d'un plan médian passant par l'axe de rotation. Les faisceaux lumineux sont alors engendrés de façon à former deux traces lumineuses situées de part et d'autre de ce plan médian et chaque demi-image contient l'image d'une seule trace. Dans ce cas, la partition des positions numérisées peut être effectuée en comparant la valeur de chaque position (qui définit la place de chaque pixel activé dans chaque ligne) par rapport à une valeur médiane correspondant à la position de l'axe de rotation dans l'image.

Selon un autre mode de mise en oeuvre, l'on filme l'objet au moyen de deux caméras, chacune disposée pour observer selon l'un des points de vue précités ; l'on obtient alors deux signaux vidéo représentatifs de deux images correspondant aux deux points de vue. La numérisation de ces signaux peut être effectuée par multiplexage, la partition des positions numérisées étant réalisée, pour chaque image, en fonction de la caméra dont est issue l'image considérée.

L'invention s'étend à un appareil de relevé tridimensionnel de la surface d'un objet, apte à délivrer un signal vidéo représentatif des coordonnées des points de cette surface. Ce signal peut être soit numérisé et traité en temps réel pour fournir les données numériques conformément au procédé sus-visé, soit enregistré et numérisé ultérieurement. Dans l'application à la reproduction par usinage d'une tête ou d'un buste, le signal vidéo est de préférence enregistré par magnétoscope sur le lieu où s'effectue le relevé, l'enregistrement étant envoyé vers le centre de reproduction pour être numérisé avant son exploitation sur machines-outils à commande numérique. L'appareil de relevé visé par l'invention est du type comprenant un système d'éclairage de l'objet, un dispositif vidéo mécaniquement solidaire du système d'éclairage en vue d'être apte à filmer l'objet avec une parallaxe prédéterminée par rapport aux faisceaux du système d'éclairage, des moyens de positionnement de l'objet sur la trajectoire des faisceaux du système d'éclairage et dans le champ du dispositif vidéo, et des moyens de déplacement en rotation relative de l'ensemble système d'éclairage/dispositif vidéo par rapport à l'objet autour d'un axe de rotation. Selon la présente invention, ledit appareil se caractérise en ce que, en combinaison :

- le système d'éclairage est adapté pour définir deux sources géométriquement décalées le long de la direction de l'axe de rotation, en vue d'émettre vers la surface de l'objet deux faisceaux lamellaires distincts, s'étendant dans des plans parallèles à l'axe de rotation ou passant par celui-ci, les axes desdits faisceaux formant avec ledit axe de rotation deux angles différents,

- le dispositif vidéo est adapté pour capter des images de l'objet de deux points de vue différents géométriquement décalés le long de l'axe de rotation de façon que les deux angles de prises de vue correspondants (considérés par rapport audit axe de rotation) soient différents, en vue d'être apte à délivrer un ou des signaux vidéo correspondant auxdits points de vue.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit en référence aux dessins annexés, lesquels illustrent, à titre d'exemples non limitatifs, des modes de mise en oeuvre du procédé de l'invention et des modes de réalisation de l'appareil ; sur ces dessins qui font partie intégrante de la présente description :

- la figure 1 est une vue en perspective d'un appareil de relevé conforme à l'invention,
- la figure 2 est une vue en perspective à échelle plus grande d'une partie de l'appareil,
- la figure 3 est une vue de côté de l'appareil,
- la figure 4 en est une vue postérieure avec arraché partiel du piétement,
- la figure 5 en est une vue de dessous,
- la figure 6 est une vue de détail en coupe d'un dispositif laser,
- les figures 7 et 8 sont des vues schématiques illustrant l'agencement géométrique des faisceaux d'éclairage et angles de prises de vue vidéo,
- la figure 9 est un synoptique de la chaîne de traitement du signal vidéo,
- la figure 10 est une vue schématique illustrant le processus de partition,
- la figure 11 est une vue schématique visant un autre mode de réalisation et illustrant l'agencement géométrique des moyens d'éclairage et dispositif vidéo,
- la figure 12 est un synoptique de la chaîne de traitement dans le cas de l'appareil de la figure 11,
- les figures 13, 14, 15a, 15b, et 16 illustrent la procédure de calibration et les moyens adaptés à sa mise en oeuvre.

L'appareil de relevé représenté à titre d'exemple aux figures 1 à 6 est destiné au relevé d'une tête humaine, notamment en vue de sa reproduction par machine-outil à commande numérique ; cet appareil comprend une potence 1 maintenue par un piétement 2 en vue de surplomber un sujet S assis sur un siège 3. A sa partie arrière, la potence 1 constituée par un carter fermé contient un moteur électrique 4 associé à un réducteur 5. Ce réducteur est accouplé à un système de transmission 6, en l'exemple à poulies et courroie crantée, en vue d'entraîner un arbre de sortie vertical 7 qui définit un axe de rotation Z contenu dans le plan médian M et passant par la verticale du siège 3.

Dans l'exemple décrit, un capteur de position angulaire 8 est couplé à l'arbre du moteur électrique en vue de délivrer à chaque instant un signal représentatif de la position angulaire de l'arbre de moteur par rapport à un repère fixe et donc représentatif de la position angulaire θ de l'arbre de sortie 7 par rapport au sujet S. Ce capteur est en particulier constitué par un générateur d'impulsions électriques de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation (roue phonique montée sur l'arbre du moteur et capteur inductif). Il est à noter que ce

capteur peut le cas échéant être supprimé dans le cas d'une vitesse de rotation constante, la position angulaire θ étant alors déduite du temps écoulé, directement mesuré par la fréquence du défilement des images vidéo.

L'arbre vertical 7 porte un support tournant 9 possédant une extension frontale verticale 9a et une extension supérieure horizontale 9b. Un organe de centrage 10 est fixé sur l'extension supérieure 9b en position verticale, coaxiale à l'arbre 7 ; cet organe est destiné à venir en appui au-dessus de la tête du sujet, grâce à une pastille de caoutchouc 10a montée libre en rotation. Le sujet peut ainsi se centrer en prenant appui contre cette pastille afin de demeurer parfaitement immobile pendant le relevé. En l'exemple, l'organe 10 est constitué par un tube, sur la longueur duquel est intercalé un profil ajouré 10b en vue de dégager le chemin optique entre une caméra 11 fixée sous l'extension supérieure 9b et un jeu de miroirs fixés sur l'extension frontale 9a.

La caméra 11 est ainsi fixée à l'opposé des miroirs par rapport au sujet, dans le plan médian M de l'ensemble tournant porté par le support 9. (La caméra 11 est inversée de façon à produire une image à l'endroit si l'on y raccorde un moniteur de contrôle).

L'extension frontale 9a porte deux jeux de deux miroirs :

- miroirs 12c₁ et 13c₁ engendrant un premier point de vue virtuel C₁,
- miroirs 14c₂ et 15c₂ engendrant un second point de vue C₂.

Les miroirs 12c₁ et 13c₁ sont disposés d'un côté du plan médian M avec un bord affleurant celui-ci (en l'exemple côté droit vu de la caméra), de façon que le champ de prise de vue réfléchi par ces miroirs corresponde au demi-espace E₁ situé du côté droit du plan médian M.

Les miroirs 14c₂ et 15c₂ sont disposés de l'autre côté (gauche) de façon que le champ de prise de vue défini par ces miroirs corresponde au demi-espace E₂ situé du côté gauche du plan médian M. Ainsi, les champs attachés aux deux points de vue C₁ et C₂ sont disjoints et correspondent à deux demi-images contiguës dans la caméra 11.

De plus, les miroirs 12c₁ et 13c₁ sont géométriquement disposés de façon à engendrer un point de vue C₁ en plongée par rapport au sujet ; à cet effet, l'angle de prise de vue (angle c₁ formé par l'axe optique et par l'axe de rotation Z) est inférieur à 90° et en particulier de l'ordre de 65°. Au contraire, les miroirs 14c₂ et 15c₂ sont géométriquement disposés de façon à engendrer un point de vue C₂ en contreplongée, l'angle de prise de vue c₂ étant supérieur à 90° et en particulier de l'ordre de 115°.

De plus, ces miroirs sont agencés de façon que les longueurs des chemins optiques, gauche et droit, soient voisines pour autoriser une mise au point unique.

Par ailleurs, l'extension 9a porte de part et d'autre du plan médian M deux dispositifs lasers hélium/néon à lentilles cylindriques 161₁ et 171₂, disposés tête-bêche ; ces dispositifs lasers sont connus en eux-mêmes et fournissent chacun un faisceau laser lamellaire. Comme l'illustre la figure 6 qui représente en coupe un exemple de dispositif laser à faisceau lamellaire (alimentation 33, tube laser 34, lentille cylindrique 35, miroir 36), on a désigné par L₁ et L₂ les sources lasers fictives obtenues en supposant chaque faisceau directement issu d'un point ; en pratique, la source laser réelle de chaque dispositif se trouve décalée par la présence d'un système optique 35, 36 qui contiennent ces dispositifs lasers à faisceau lamellaire ; toutefois, dans la géométrie caractéristique de l'invention, ce sont les positions de ces sources fictives L₁ et L₂ qui sont à considérer (de même que pour les points de vue fictifs C₁ et C₂ dans le cas du dispositif vidéo).

La caméra 11 est équipée d'un filtre interférentiel accordé à la longueur d'onde des lasers, de façon à la rendre spécifiquement sensible à cette longueur d'onde et à s'affranchir des problèmes d'éclairage ambiant.

Le dispositif laser 161₁ situé à droite du côté du point de vue C₁ (en plongée) éclaire le sujet en plongée sous un angle l₁ (par rapport à l'axe de rotation Z) sensiblement égal à l'angle de prise de vue c₁. L'autre dispositif situé à gauche du côté du point de vue C₂ (en contreplongée) éclaire le sujet en contreplongée sous un angle l₂ sensiblement égal à l'angle de prise de vue c₂.

Les deux dispositifs 161₁ et 171₂ sont disposés, tête-bêche, symétriquement par rapport au plan médian M de façon que les faisceaux lumineux correspondants soient contenus dans des plans verticaux P₁ et P₂ passant par l'axe de rotation Z et formant des angles de parallaxes p₁, p₂, en l'exemple sensiblement égaux à 30° de part et d'autre du plan M. Les faisceaux forment ainsi deux traces lumineuses sur le sujet, situées de part et d'autre du plan médian M.

Il est à noter qu'un joint tournant classique est inclus dans l'arbre de sortie 7 en vue de permettre l'alimentation électrique de la caméra 11 et des dispositifs laser 161₁ et 171₂ et le transfert du signal vidéo issu de la caméra.

L'agencement géométrique des points de vue C₁, C₂ et sources L₁ et L₂ est symbolisé aux figures 7 et 8 afin de le rendre plus clair. Le repère XYZ est un repère fixe lié au sujet et le repère xyz un repère mobile lié au support tournant 9, ces repères étant supposés confondus à l'instant initial et formant un angle θ , à un instant t de la rotation correspondant à une prise d'image donnée.

La figure 9 illustre un exemple de chaîne de traitement du signal vidéo issu de la caméra 11, et des informations de position angulaire provenant du capteur 8. Dans cet exemple, le signal vidéo est enregistré au moyen d'un magnétoscope 18 sur une bande magnétique traditionnelle (symbolisée en 19), le signal de position angulaire constitué par une fréquence audio proportionnelle à la vitesse étant enregistré sur la piste SON de cette bande magnétique 19.

Cet enregistrement effectué directement en aval de la caméra 11 et du capteur 8 permet de supprimer tout

traitement au niveau de l'appareil de relevé et donc de réduire le prix de cet appareil qui est mis à la disposition d'un réseau commercial en contact avec le public. Les bandes 19 sont centralisées dans un ou des centres spécialisés équipés, d'une part, d'une unité de traitement UT telle que décrite ci-après, d'autre part, de machines-outils à commande numérique, aptes à exploiter la base de données numériques obtenue pour

réaliser les reproductions en relief.
 Dans le centre spécialisé, chaque bande 19 est lue sur un magnétoscope 20 qui délivre les signaux vers un convertisseur analogique/numérique 21. Pour chaque image, ce convertisseur code à chaque ligne ($v_1, v_2...$) les positions des pixels activés ($u_1, u_2...$) et les écrit dans une mémoire de stockage 22. Ce codage peut être effectué en écrivant séquentiellement dans les cellules mémoires, le code de la position de chaque pixel sur sa ligne ($u_1, u_2...$), l'adresse de la cellule étant représentative du numéro de ligne ($v_1, v_2...$).

Le convertisseur 21 comprend un compteur en vue de numériser le signal de position de la piste SON, ce signal numérisé (représentatif de θ) étant stocké en en-tête de chaque image.

Il est à noter que, dans le cas d'une vitesse uniforme de rotation, le système peut fonctionner en l'absence de signal de position ; le compteur précité comptabilise alors les "top de synchronisation trame" afin d'identifier chaque image par sa position temporelle.

Les positions numérisées ($u_1, v_1 ; u_2, v_2...$) stockées, pour chaque image, dans la mémoire 22 sont délivrées vers un séparateur de traces 23 qui réalise une partition de celles-ci en deux fichiers-tampons 24 et 25, chacun contenant les positions numérisées des traces formées par un laser (L_1 ou L_2) et les positions angulaires θ correspondantes. Cette partition, illustrée à la figure 10, est effectuée en comparant pour chaque ligne ($v_1, v_2...$) les valeurs des positions numérisées ($u_1, u_2...$) à la valeur médiane (u_m) correspondant à la position de l'axe de rotation Z dans l'image. En cas de valeur inférieure, les positions numérisées et l'en-tête θ sont stockées dans le fichier-tampon 24 ; en cas de valeur supérieure, elles sont stockées dans le fichier-tampon 25.

Par ailleurs, des informations représentatives de la géométrie de l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lasers sont stockées dans une mémoire 26 et délivrées vers un micro-ordinateur 27 ; en l'exemple, ces informations sont représentatives des parallaxes des faisceaux p_1, p_2 , et des angles de plongée et de contreplongée c_1 et c_2 des deux points de vue et sont définies par des mesures préalables d'angles et de distance.

Pour chaque image, ces informations de géométrie associées à l'information de position angulaire θ permettent au micro-ordinateur 27 de calculer (par des calculs trigonométriques classiques) des informations, dites spécifiques, attachées à chaque faisceau laser et au point de vue correspondant pour l'image considérée. Ces informations caractérisent la trace qui est formée par ledit faisceau et qui est observée dudit point de vue ; elles sont associées aux positions numérisées correspondant à cette trace en vue de fournir la troisième coordonnée. Ces coordonnées sont stockées dans une banque de données tridimensionnelles 28.

La figure 11 illustre un autre mode de réalisation de l'appareil. La structure mécanique générale de l'appareil est similaire, mais l'on éclaire la surface de l'objet (ou du sujet) par deux faisceaux lasers qui, dans ce cas, sont situés dans un plan médian M' contenant l'axe de rotation Z' (ou situés au voisinage d'un tel plan) à partir de deux sources lasers L'_1, L'_2 situées dans ce plan médian et décalées en hauteur, l'une en plongée (angle de plongée : l'_1), l'autre en contreplongée (l'_2).

L'on filme alors l'objet au moyen de deux caméras positionnées selon deux points de vue C'_1, C'_2 situés de part et d'autre du plan médian M' à des hauteurs différentes pour donner un angle de prise de vue en plongée c'_1 et en contreplongée c'_2 . Ces angles ont des valeurs similaires à celles déjà fournies pour l'autre mode de réalisation ; il en est de même pour les angles de parallaxe p'_1, p'_2 .

Dans ce cas, l'objet est filmé des deux points de vue C'_1, C'_2 de façon que les champs de prises de vue se recouvrent au niveau de l'objet et contiennent la trace des deux faisceaux lumineux.

La figure 12 illustre le cas d'un traitement en ligne en l'absence de capteur de position (vitesse de rotation uniforme). Les signaux vidéo issus des caméras C'_1, C'_2 sont multiplexés dans un multiplexeur 29 en amont d'un convertisseur analogique/numérique 30 et, pour chaque image, la partition des positions numérisées est réalisée en fonction de la caméra dont est issue l'image considérée, grâce à un aiguillage 31 ; un séquenceur 32 synchronise le multiplexage d'entrée et l'aiguillage de sortie du convertisseur 30 en fonction des top de synchronisation de trame. La suite du traitement est similaire au cas précédent.

Dans les modes de réalisation décrits précédemment, les calculs effectués par le micro-ordinateur 27 sont des calculs classiques de type trigonométrique et les informations nécessaires représentatives de la géométrie de l'appareil sont des distances et des angles (p_1, p_2, c_1, c_2) préalablement mesurés et stockés dans la mémoire 26.

Les figures 13, 14, 15a, 15b et 16 ont trait à un autre mode de réalisation, présentant un intérêt industriel essentiel, car il évite les mesures des paramètres géométriques sus-évoqués et écarte les erreurs afférentes. De plus, il permet de prendre en compte des optiques de caméra avec anamorphose, qui augmentent la résolution horizontale $\frac{2x}{f}$ et donc la précision.

Dans ce mode de réalisation, dans une phase préalable (qui peut être renouvelée de temps en temps), on substitue à l'objet à numériser une mire de calibration 33 présentant des reliefs de géométrie et de dimensions connues préalablement mémorisées. Par exemple, on peut utiliser comme mire une plaque 33a portant sur une face un maillage de pîges 33b, chacune constituée par un téton cylindrique.

La mire 33 est disposée à l'extrémité du tube 10 déjà décrit, à la place de la ventouse. A cet effet, comme le représente la figure 15a, la ventouse 10a est fixée sur un embout 34 qui est amovible grâce à une vis-pression

35.

Un autre embout 36 tel que représenté à la figure 15b peut être disposé à l'extrémité du tube 10 pour réaliser l'opération préalable de calibration. Cet embout porte la plaque de mire 33a qui est fixée par des goudjons 37 de façon à être en retrait par rapport à l'axe vertical Z, les piges 33b étant de longueur suffisante pour intercepter le faisceau laser considéré passant par l'axe Z. Il est à noter que le tube 10 peut permettre de fixer d'autres types d'embouts de centrage en vue de numériser d'autres objets que des têtes, par exemple objet inerte fixé par un embout spécifique.

La mire 33 est orientée parallèlement aux plans P₁ et P₂ des faisceaux des lasers L₁, L₂, en vue de réaliser deux opérations successives de numérisation décrites ci-après : mire parallèle au plan P₁ et mire parallèle au plan P₂. Les figures 13 et 14 illustrent la mire dans cette dernière position. Les deux opérations de numérisation sont identiques et une seule sera décrite plus loin (sans mentionner les indices 1 ou 2 du laser concerné).

La mire est éclairée par le laser L et chaque pige 33b, par exemple kième pige notée M_k de coordonnées métriques x_k, z_k connues donne une image N_k (u_k, v_k) sur l'écran (figure 16), u_k désignant la colonne et v_k la ligne où apparaît l'image.

La calibration a pour objectif de définir les fonctions R et T donnant respectivement l'abscisse x et l'ordonnée z de tout point M du plan laser P en fonction de la colonne u et de la ligne v de son image N :

$$M \quad \begin{cases} x = R(u, v) \\ z = T(u, v) \end{cases}$$

Dans le cas d'un dispositif linéaire (caméra 11 et électronique associée), on peut démontrer que ces fonctions sont de la forme suivante (fonctions de projection conique, connues en optique) :

$$x = R(u, v) = \frac{au + bv + c}{gu + hv + 1}$$

$$z = T(u, v) = \frac{du + ev + f}{gu + hv + 1}$$

Les huit inconnues, constituées par les coefficients a, b, c, d, e, f, g, h sont déterminées en appliquant ces équations à au moins quatre piges M_k pour lesquelles x_k, z_k, u_k et v_k sont connues :

$$M_k \quad \begin{cases} x_k = R(u_k, v_k) \\ z_k = T(u_k, v_k) \end{cases} \quad k \geq 4$$

Ce système linéaire est résolu par le micro-ordinateur 27 et les huit coefficients ainsi déterminés sont stockés dans la mémoire 26 pour faire office d'informations représentatives de la géométrie de l'appareil.

En pratique, on choisira un nombre de piges supérieur à 4, notamment compris entre 9 et 25 pour bénéficier de mesures redondantes, de façon à résoudre le système d'équations au sens des moindres carrés en vue de s'affranchir des erreurs de quantification sur u_k et v_k liées à la résolution de la caméra.

Cette numérisation et les calculs qui en découlent sont répétés autant de fois qu'il y a de plans lasers différents et de points de vue caméra différents.

Dans le cas d'un dispositif non linéaire (aberration optique de la caméra, distorsion vidéo, glissement

fréquentiel de l'horloge d'échantillonnage du convertisseur 21), on considère que la formulation linéaire précédente est valable localement et que les coefficients a, b, c, d, e, f, g, h sont fonctions du point (u, v). Dans ces conditions, les fonctions R et T deviennent :

$$x = R(u, v) = \frac{a(u, v) \cdot u + b(u, v) \cdot v + c(u, v)}{g(u, v) \cdot u + h(u, v) \cdot v + 1}$$

$$z = T(u, v) = \frac{d(u, v) \cdot u + e(u, v) \cdot v + f(u, v)}{g(u, v) \cdot u + h(u, v) \cdot v + 1}$$

Les non-linéarités des coefficients représentent de faibles variations (quelques pour cent) de la fonction de transfert globale du système. Ces coefficients peuvent donc être exprimés sous la forme d'un développement limité, par exemple :

$$a(u, v) = \sum_{ij=0}^n a_{ij} u^i v^j$$

En substituant ces développements dans les fonctions R et T et en factorisant les diverses puissances, on obtient :

$$x = R(u, v) = \frac{\sum_{ij=0}^n \alpha_{ij} u^i v^j}{1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j}$$

$$z = T(u, v) = \frac{\sum_{ij=0}^n \beta_{ij} u^i v^j}{1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j}$$

On obtient un système linéaire en α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij} ayant un nombre d'inconnues fonction du degré n de développement, à savoir :

$$2 + \frac{3n(n+3)}{2}.$$

On choisira un nombre de pîges suffisant pour permettre de résoudre ce système, avec des redondances comme déjà indiqué. Chaque pige donnant deux équations, le nombre de pîges minimum sur lequel on applique les équations est :

$$1 + \frac{3n(n+3)}{4}.$$

On a pu constater qu'un développement au degré $n = 3$ modélise en pratique de façon très satisfaisante les non-linéarités les plus fortes qui peuvent se rencontrer dans les dispositifs utilisés. Pour $n = 3$, le nombre minimum de pîges est de 15 et en pratique ce nombre sera pris compris entre 20 et 30 en vue d'obtenir les redondances précitées.

Il est à noter que le développement sur une base polynomiale $u^i v^j$ peut être remplacé par toute autre base de fonctions (exponentielle, série de Fourier) donnant le cas échéant une meilleure modélisation de certaines distorsions (et permettant ainsi de réduire le degré n de développement nécessaire).

Il est également possible d'effectuer une calibration non linéaire par d'autres méthodes : calibration par zones juxtaposées considérées chacune comme linéaire, calibration par superposition à une calibration linéaire d'une linéarisation préalable de l'image ; cette linéarisation étant effectuée par une caractérisation des non linéarités de l'optique et de l'électronique associée.

Revendications

1/- Procédé de numérisation de la surface d'un objet (ou sujet) tridimensionnel permettant d'engendrer des données numériques représentatives des coordonnées des points de cette surface dans un référentiel tridimensionnel, du type dans lequel on éclaire la surface de l'objet par des faisceaux lumineux lamellaires en vue de former des traces lumineuses sur ladite surface, on filme ledit objet au moyen d'un dispositif vidéo avec une parallaxe prédéterminée (p_1, p_2) par rapport aux faisceaux lumineux en vue de délivrer un signal vidéo représentatif des coordonnées des points desdites traces lumineuses, on fait subir un mouvement relatif de rotation autour d'un axe (Z) à l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lumineux par rapport à l'objet de façon à éclairer et filmer toute la surface de l'objet, on engendre une information, dite de position angulaire (θ), représentative pour chaque image de la position angulaire correspondante de l'ensemble dispositif vidéo/faisceau lumineux par rapport à l'objet, et on convertit en données numériques les signaux vidéo représentatifs de chaque image et les informations de position angulaire desdites images (θ), ledit procédé étant caractérisé en ce que, en combinaison :

. l'on éclaire la surface de l'objet par au moins deux faisceaux lumineux selon des surfaces réglées coïncidant ou voisines avec des plans (P_1, P_2) parallèles à l'axe de rotation (Z) ou passant par cet axe, lesdites faisceaux étant issus de sources (L_1, L_2) géométriquement décalées le long de la direction de cet axe de rotation de façon que les axes des faisceaux forment avec l'axe de rotation des angles différents (α_1, α_2),

. l'on filme l'objet au moyen du dispositif vidéo, d'au moins deux points de vue différents (C_1, C_2) géométriquement décalés le long de l'axe de rotation (Z) de façon que les angles (c_1, c_2) de prises de vue correspondants (considérés par rapport audit axe de rotation) soient différents, en vue de délivrer des signaux vidéo correspondant auxdits points de vue,

. l'on numérise lesdits signaux vidéo en codant dans chaque ligne la position des pixels activés et l'on mémorise ces positions numérisées ($u_1, v_1 ; u_2, v_2, \dots$),

. l'on réalise, pour chaque image, une partition des positions numérisées en vue de distinguer les positions numérisées correspondant aux traces engendrées par chaque faisceau,

. l'on engendre à partir des informations de position angulaire liées à chaque image (θ) et d'informations ($p_1, p_2, c_1, c_2 ; a-h ; \alpha_{ij}, \beta_{ij}, \gamma_{ij}$) représentatives de la géométrie de l'ensemble dispositif vidéo/ faisceaux lumineux, des informations dites spécifiques, attachées à chaque trace,

. et pour chaque image, l'on associe aux positions numérisées correspondant à chaque trace (u_1, v_1 ou

u₂, v₂...) les informations spécifiques attachées à la trace considérée.

2/ - Procédé selon la revendication 1, dans lequel, en combinaison :

. l'on filme l'objet de deux points de vue (C₁, C₂) situés dans un plan médian (M) contenant l'axe de rotation (Z) ou au voisinage de celui-ci, à des hauteurs différentes pour donner un angle de prise de vue en plongée (c₁) et l'autre en contreplongée (c₂).

. l'on éclaire la surface de l'objet par deux faisceaux lumineux distincts issus de deux sources (L₁, L₂), situées de part et d'autre du plan médian (M) à des hauteurs différentes pour éclairer, l'un en plongée (l₁), l'autre en contreplongée (l₂).

3/ - Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on filme l'objet des deux points de vue (C₁, C₂) de sorte que les champs de prises de vue soient sensiblement disjoints et correspondent, chacun, au demi-espace (E₁, E₂) situé d'un côté et de l'autre du plan médian (M), de façon à filmer de chaque point de vue la trace d'un seul faisceau lumineux.

4/ - Procédé selon la revendication 1, dans lequel, en combinaison :

. l'on éclaire la surface de l'objet par deux faisceaux lumineux situés dans un plan médian (M') contenant l'axe de rotation (Z') ou situés au voisinage d'un tel plan, à partir de deux sources (L'₁, L'₂) décalées en hauteur, de façon à éclairer, l'une en plongée (l'₁), l'autre en contreplongée (l'₂),

. l'on filme l'objet de deux points de vue (C'₁, C'₂) situés de part et d'autre du plan médian (M') précité, à des hauteurs différentes pour donner un angle de prise de vue en plongée (c₁) et en contreplongée (c₂).

5/ - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'on filme l'objet des deux points de vue (C'₁, C'₂) de façon que les champs de prises de vue se recouvrent au niveau de l'objet et contiennent la trace des deux faisceaux lumineux.

6/ - Procédé selon l'une des revendications 1, 2, 3, 4 ou 5, dans lequel l'on filme l'objet au moyen d'une caméra unique (11) par réflexion sur deux jeux de miroirs (12c₁, 13c₁ ; 14c₂, 15c₂), géométriquement agencés pour engendrer les deux points de vue (C₁, C₂) précités et conditionner des chemins optiques de longueur voisine, en vue de délivrer un signal vidéo unique représentatif de deux demi-images correspondant à chaque point de vue.

7/ - Procédé selon les revendications 3 et 6 prises ensemble, caractérisé en ce que l'on numérise le signal vidéo en codant dans chaque ligne la position des pixels activés et l'on réalise la partition des positions numérisées en fonction de leur valeur par rapport à une valeur médiane correspondant à la position de l'axe de rotation (Z) dans l'image.

8/ - Procédé selon l'une des revendications 1, 2, 3, 4 ou 5, caractérisé en ce que l'on filme l'objet au moyen de deux caméras, chacune disposée pour observer selon l'un des points de vue (C'₁, C'₂) précités, en vue de délivrer deux signaux vidéo représentatifs de deux images correspondant aux deux points de vue.

9/ - Procédé selon les revendications 4 et 8 prises ensemble, caractérisé en ce que l'on multiplexe les deux signaux vidéo en vue de leur numérisation et l'on réalise, pour chaque image, la partition des positions numérisées en fonction de la caméra dont est issue l'image considérée.

10/ - Procédé selon l'une des revendications 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9, dans lequel l'on éclaire la surface de l'objet par des sources définies par deux dispositifs lasers distincts (161₁, 171₂).

11/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel les informations représentatives de la géométrie de l'ensemble vidéo/faisceaux lumineux sont constituées par des distances et des angles (p₁, p₂, c₁, c₂) préalablement mesurés et stockés dans une mémoire (26), les informations spécifiques attachées à chaque trace étant les coordonnées des points desdites traces calculées par des calculs trigonométriques.

12/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les informations représentatives de la géométrie de l'ensemble vidéo/faisceaux lumineux sont déterminées par une procédure de calibration consistant :

. à réaliser préalablement la numérisation d'une mire de calibration (33) substituée à l'objet, ladite mire présentant des reliefs de géométrie et de dimensions connues préalablement mémorisées,

. et à calculer des fonctions $x = R(u, v)$, $z = T(u, v)$ donnant les coordonnées métriques des points de chaque plan laser en fonction des colonnes et lignes de l'image correspondante, à partir des résultats de la numérisation précitée,

. les informations spécifiques attachées à chaque trace étant obtenues par l'application de ces fonctions.

13/ - Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'on utilise une mire de calibration constituée par une plaque (33a) portant sur une face un maillage de piges (33b), la numérisation étant effectuée pour chaque plan laser en disposant ladite plaque (33a) parallèlement au plan du faisceau lumineux de façon que les piges interceptent ledit faisceau.

14/ - Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'on calcule des fonctions linéaires de la forme

$$x = R(u, v) = \frac{au + bv + c}{gu + hv + 1} \quad \text{et} \quad z = T(u, v) = \frac{du + ev + f}{gu + hv + 1},$$

5

les coefficients (a-h) étant déterminés en appliquant ces équations à au moins quatre points des reliefs de la mire, pour lesquels le quadruplet, (x, z, u, v) est connu et mémorisé, et en résolvant le système linéaire d'équations obtenu.

15/ - Procédé selon l'une des revendications 12 ou 13, caractérisé en ce que l'on calcule des fonctions non linéaires de la forme

10

$$\sum_{ij=0}^n \alpha_{ij} u^i v^j$$

15

$$x = R(u, v) = \frac{\sum_{ij=0}^n \alpha_{ij} u^i v^j}{1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j}$$

20

$$1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j$$

25

$$\sum_{ij=0}^n \beta_{ij} u^i v^j$$

30

$$z = T(u, v) = \frac{\sum_{ij=0}^n \beta_{ij} u^i v^j}{1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j},$$

35

$$1 + \sum_{ij=1}^n \gamma_{ij} u^i v^j$$

40

les coefficients (α_{ij} , β_{ij} , γ_{ij}) étant déterminés en appliquant ces équations à un nombre de points de reliefs de la mire, au moins égal à

45

$$1 + \frac{3n(n+3)}{4},$$

50

pour lesquels le quadruplet (x, z, u, v) est connu et mémorisé, et en résolvant le système linéaire d'équations obtenu.

16/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que l'objet est fixe et traversé par l'axe de rotation (Z), et l'ensemble dispositif vidéo/faisceaux lumineux est amené à tourner autour de l'axe de rotation (Z).

55

17/ - Appareil de relevé tridimensionnel de la surface d'un objet (ou sujet) en vue de délivrer un signal vidéo représentatif des coordonnées des points de cette surface, du type comprenant un système d'éclairage de l'objet (161₁, 171₂), un dispositif vidéo (11, 12c₁, 13c₁, 14c₂, 15c₂) mécaniquement solidaire du système d'éclairage, en vue d'être apte à filmer l'objet avec une parallaxe prédéterminée par rapport aux faisceaux du système d'éclairage, des moyens (3, 10) de positionnement de l'objet sur la trajectoire des faisceaux du système d'éclairage et dans le champ du dispositif vidéo, et des moyens (4-7) de déplacement en rotation relative de l'ensemble système d'éclairage/dispositif vidéo par rapport à l'objet autour d'un axe de rotation (Z), ledit appareil étant caractérisé en ce que, en combinaison :

65

5 le système d'éclairage est adapté pour définir deux sources (L_1 , L_2) géométriquement décalées le long de la direction de l'axe de rotation, en vue d'émettre vers la surface de l'objet deux faisceaux lamellaires distincts, s'étendant dans des plans parallèles à l'axe de rotation (Z) ou passant par celui-ci, les axes desdits faisceaux formant avec ledit axe de rotation (Z) deux angles différents (I_1 , I_2).

le dispositif vidéo est adapté pour capter des images de l'objet de deux points de vue différents (C_1 , C_2) géométriquement décalés le long de l'axe de rotation (Z) de façon que les deux angles de prises de vue correspondants (c_1 , c_2 considérés par rapport audit axe de rotation) soient différents, en vue d'être apte à délivrer un ou des signaux vidéo correspondant auxdits points de vue.

18/ - Appareil selon la revendication 17, dans lequel, en combinaison :

10 - le dispositif vidéo comprend une caméra vidéo (11) spécifiquement sensible à une longueur d'onde prédéterminée, et deux jeux de miroirs ($12c_1$, $13c_1$; $14c_2$, $15c_2$...) géométriquement agencés pour engendrer deux points de vue (C_1 , C_2) situés dans un plan médian (M) contenant l'axe de rotation (Z), l'un des jeux donnant un angle de prise de vue en plongée, l'autre en contre-plongée,

15 - le système d'éclairage comprend deux dispositifs lasers lamellaires (161_1 , 171_1) de longueur d'onde accordée à celle de la caméra, agencés pour définir des sources (L_1 , L_2) disposées latéralement d'un côté et de l'autre du plan médian (M) précité, à des hauteurs différentes pour éclairer, l'une en plongée, l'autre en contre-plongée.

19/ - Appareil selon la revendication 18, caractérisé en ce que les jeux de miroirs ($12c_1$, $13c_1$; $14c_2$, $15c_2$) sont agencés pour couvrir des champs de prises de vue sensiblement disjoints correspondant respectivement aux demi-espaces (E_1 , E_2) situés d'un côté et de l'autre du plan médian (M), le jeu de miroirs ($12c_1$, $13c_1$) donnant l'angle de prise de vue en plongée (c_1) couvrant le demi-espace (E_1) situé du côté de la source laser éclairant en plongée (L_1), et réciproquement pour la contre-plongée.

20/ - Appareil selon l'une des revendications 18 ou 19, caractérisé en ce qu'il comprend une potence (1), un moteur électrique (4) associé à un réducteur (5) portés par ladite potence, un système de transmission (6) associé audit réducteur et possédant un arbre de sortie (7) colinéaire à l'axe de rotation (Z), et un support tournant (9) porté par l'arbre de sortie, la caméra vidéo (11), les jeux de miroirs ($12c_1$, $13c_1$; $14c_2$, $15c_2$) et les dispositifs lasers 161_1 , 171_2 étant assujettis audit support tournant (9).

21/ - Appareil selon l'une des revendications 17, 18, 19 ou 20, dans lequel un capteur de position angulaire (8) est associé aux moyen de déplacement en rotation (4-7), ledit capteur étant adapté pour délivrer un signal représentatif de la position angulaire relative de l'ensemble système d'éclairage/dispositif vidéo par rapport à l'objet.

22/ - Appareil selon les revendications 20 et 21 prises ensemble, caractérisé en ce que le capteur de position angulaire (8) comprend un générateur d'impulsions électriques de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation, couplé à l'arbre du moteur électrique.

23/ - Appareil selon l'une des revendications 20, 21 ou 22, caractérisé en ce que le support tournant (9) est doté d'un organe de centrage (10), situé dans le prolongement de l'arbre de sortie (7) et adapté pour assurer un positionnement de l'objet.

24/ - Appareil selon la revendication 23, caractérisé en ce que l'organe de centrage (10) est adapté pour recevoir des embouts amovibles d'au moins deux types, l'un (10a, 34) adapté pour venir en appui sur l'objet à numériser, l'autre (36) adapté pour supporter et centrer une mire de calibration (33) associée à l'appareil.

25/ - Appareil selon la revendication 24, caractérisé en ce que la mire de calibrage comprend une plaque (33a) dotée d'un maillage de piges (33b).

26/ - Appareil selon l'une des revendications 20, 21, 22, 23, 24 ou 25, caractérisé en ce que le support tournant (9) possède, d'une part, une extension frontale (9a) située à l'avant de l'organe de centrage (10) et portant les jeux de miroirs ($12c_1$, $13c_1$; $14c_2$, $15c_2$) et les dispositifs lasers (161_1 , 171_2), d'autre part, une extension supérieure (9b) portant la caméra (11), l'organe de centrage (10) étant ajouré pour dégager le chemin optique entre caméra et jeux de miroirs.

27/ - Appareil selon l'une des revendications 17 à 26, adapté pour effectuer le relevé d'une tête ou d'un buste humain.

Fig. 1

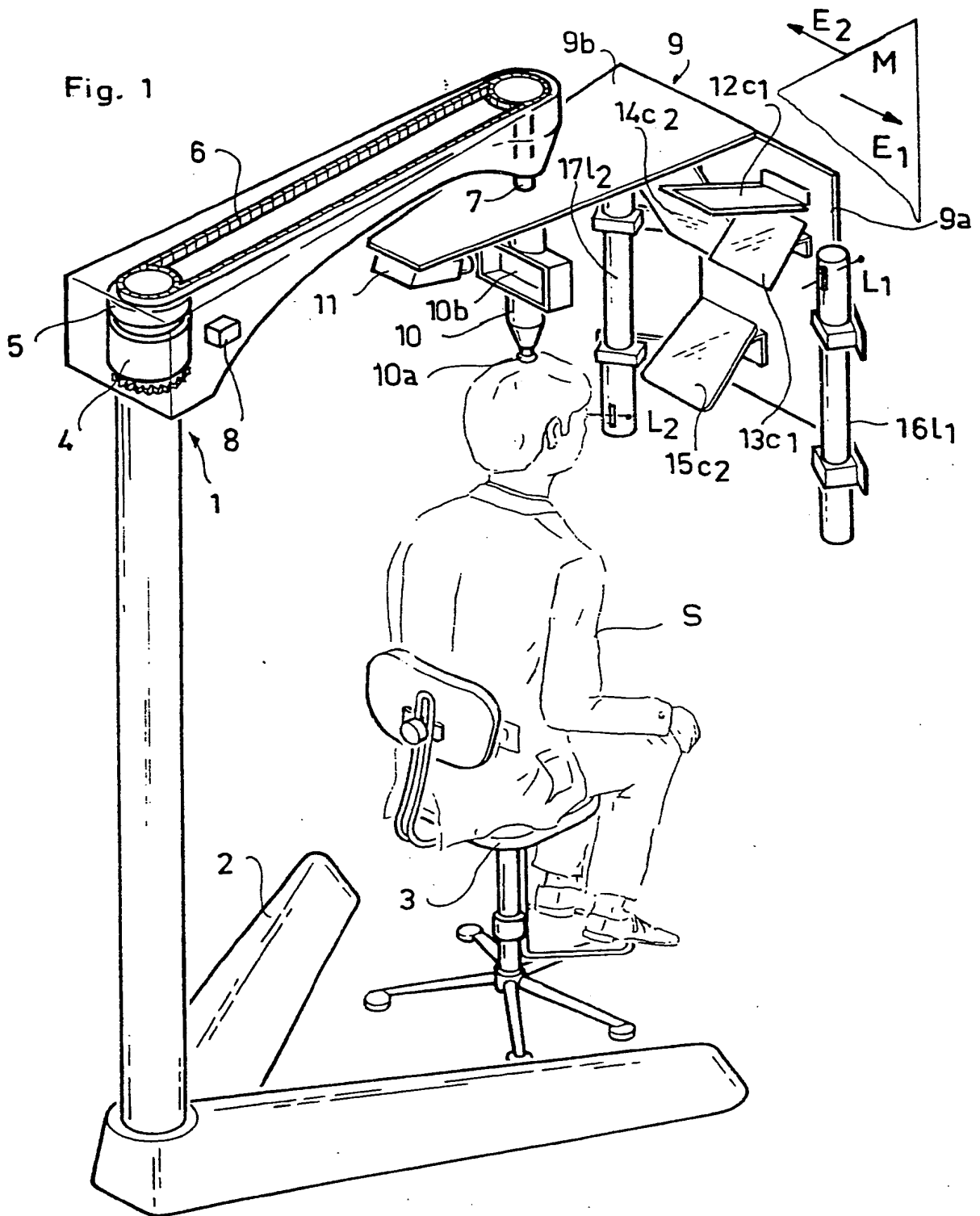


Fig. 2

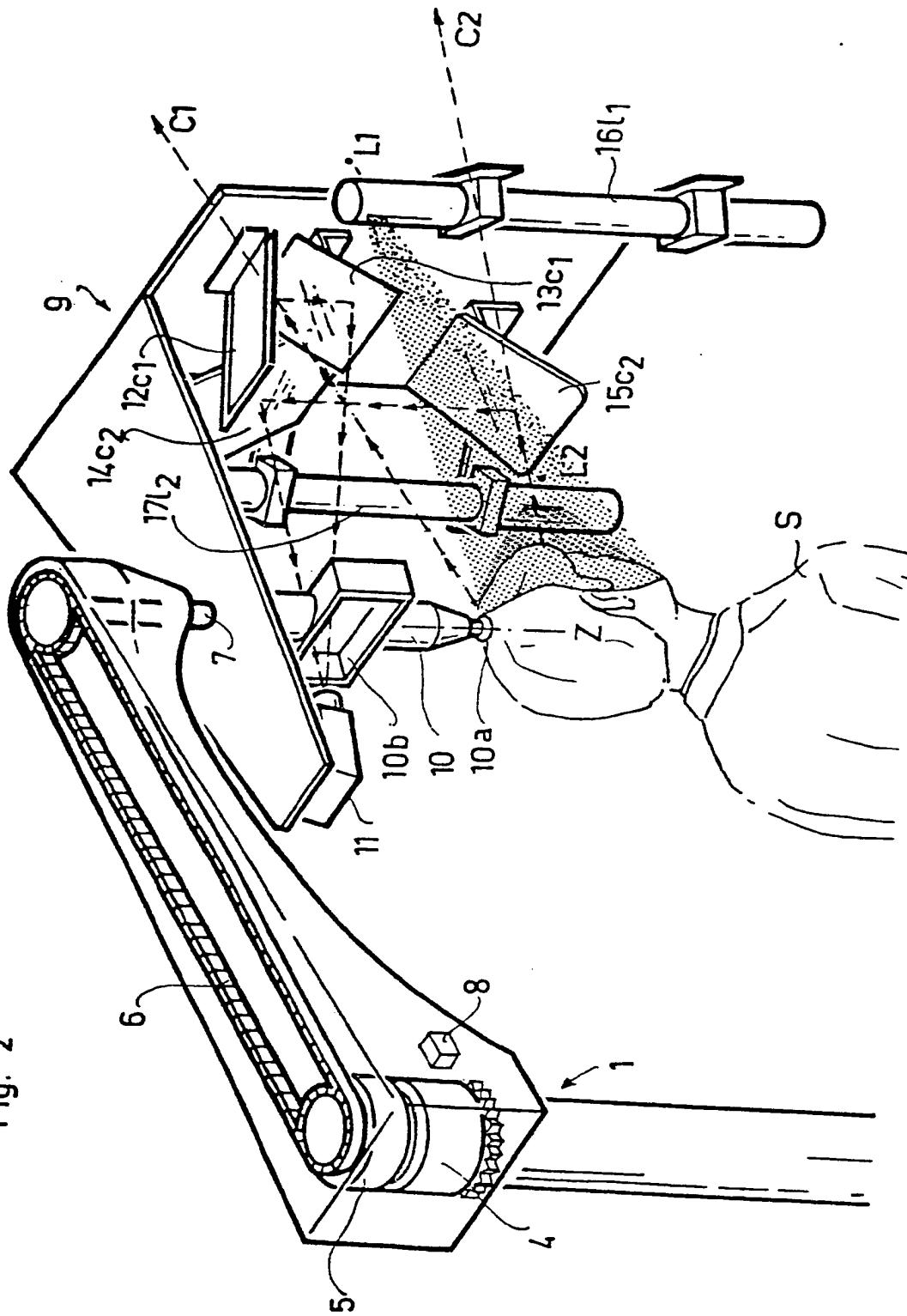


Fig. 3

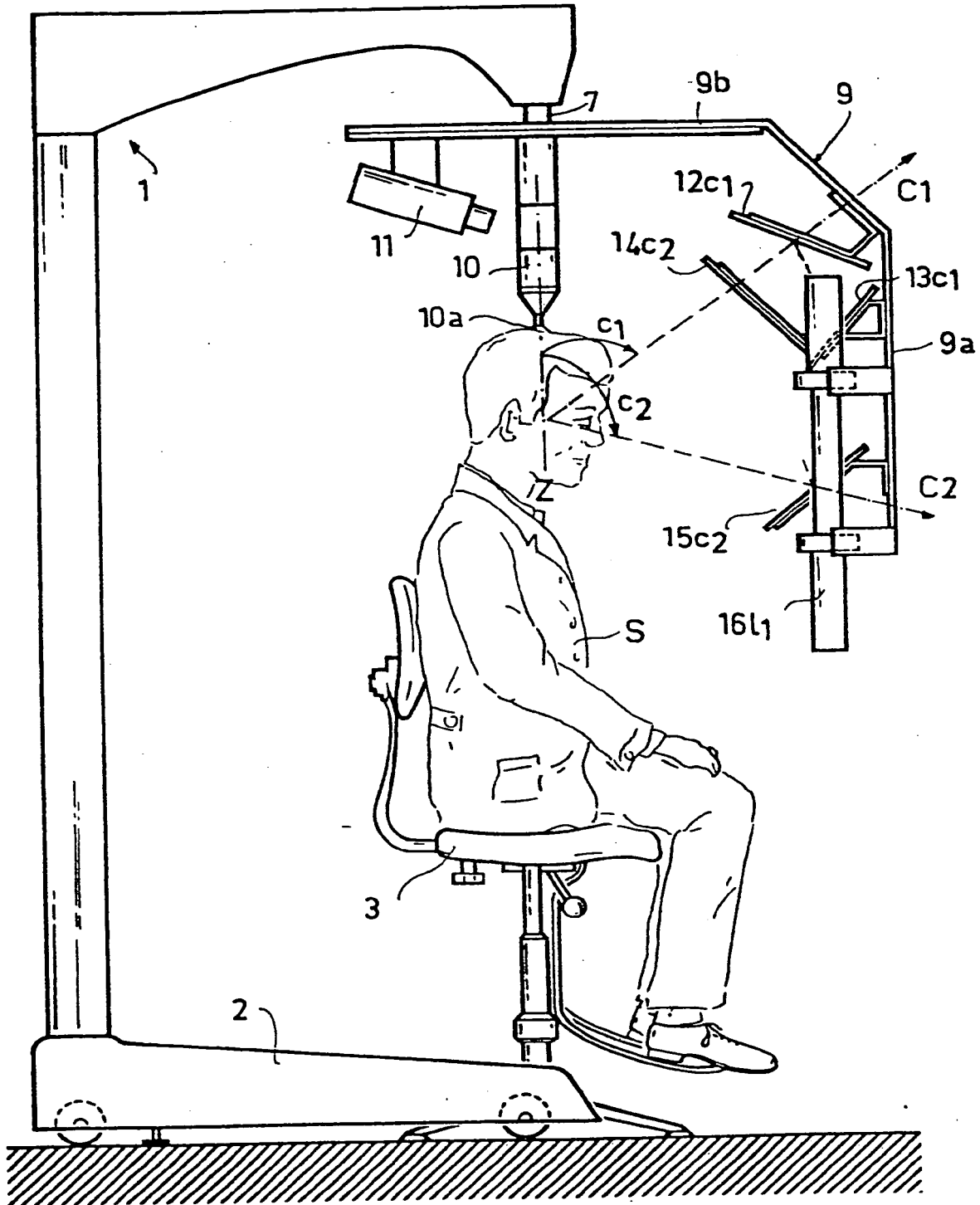
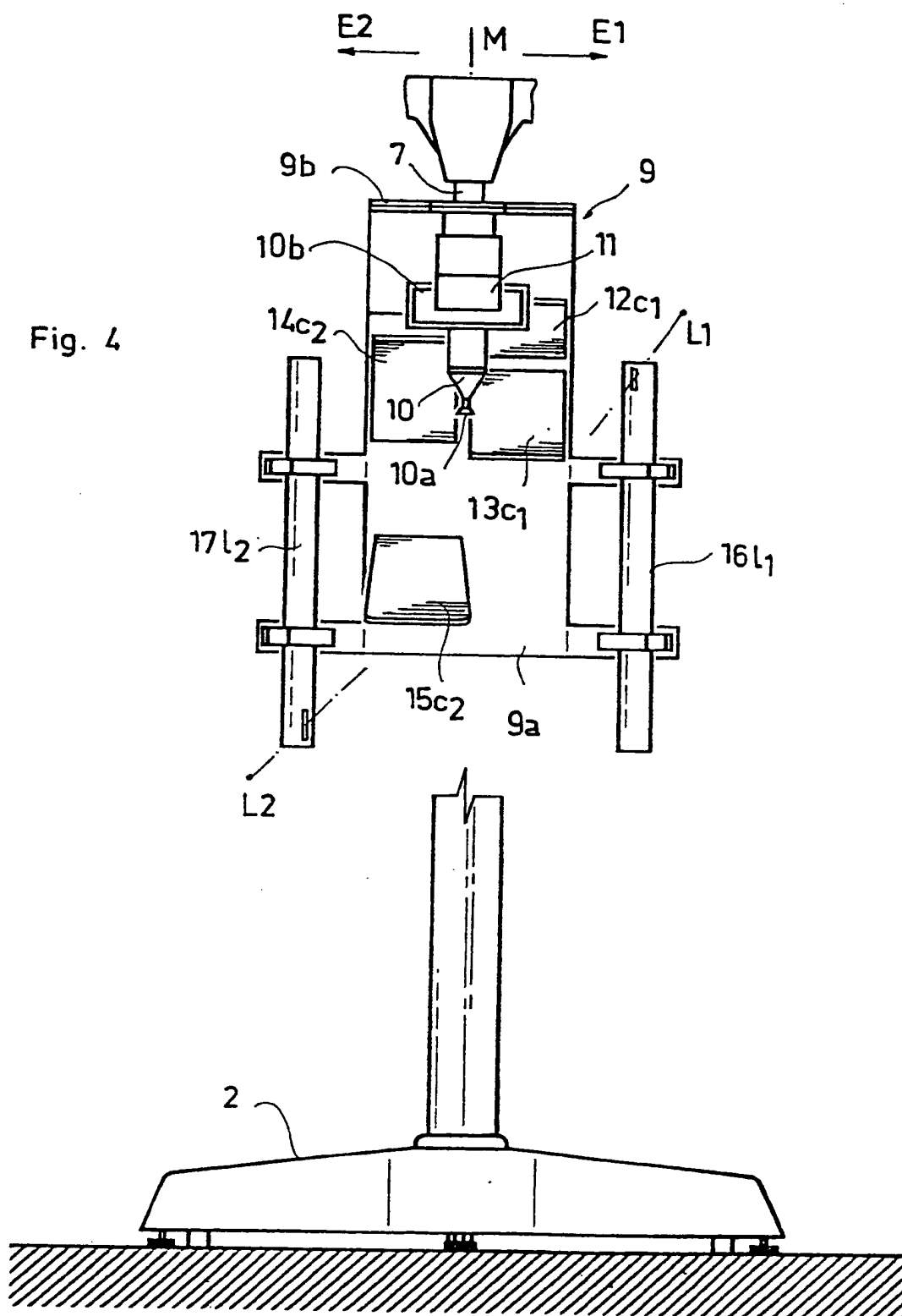


Fig. 4



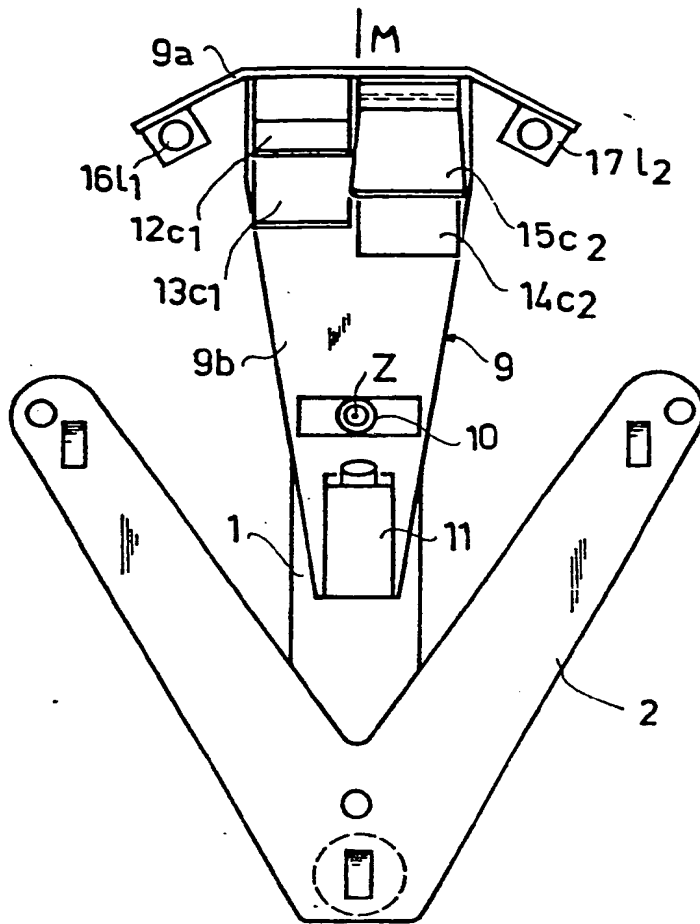


Fig. 5

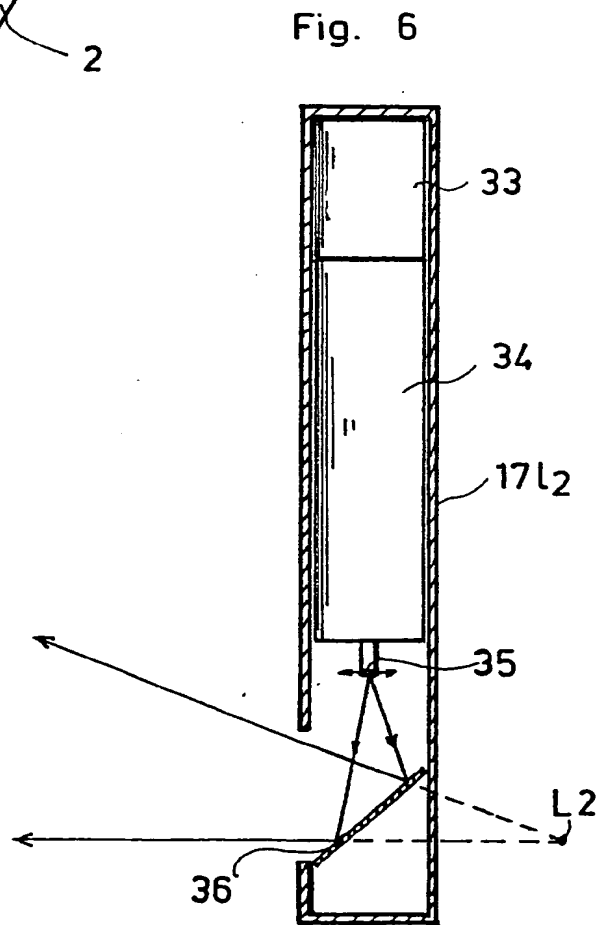
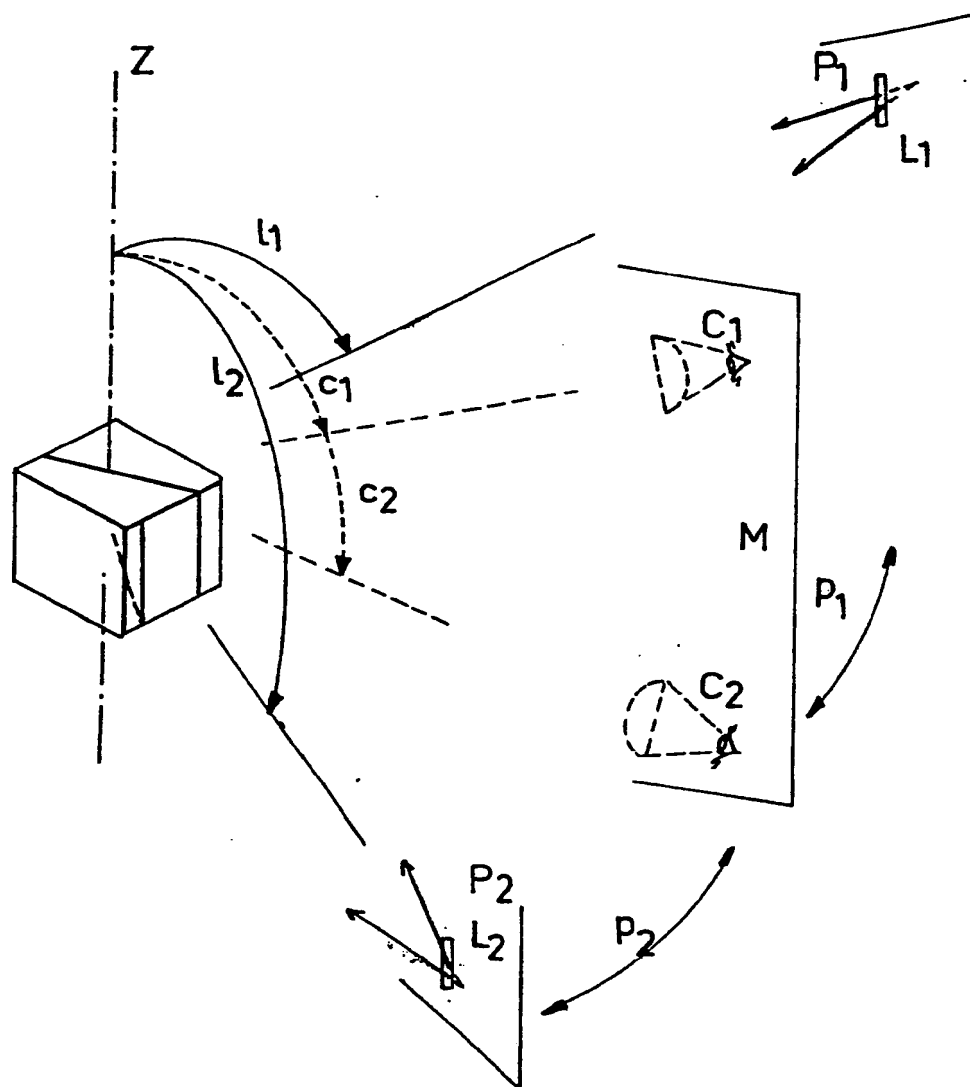
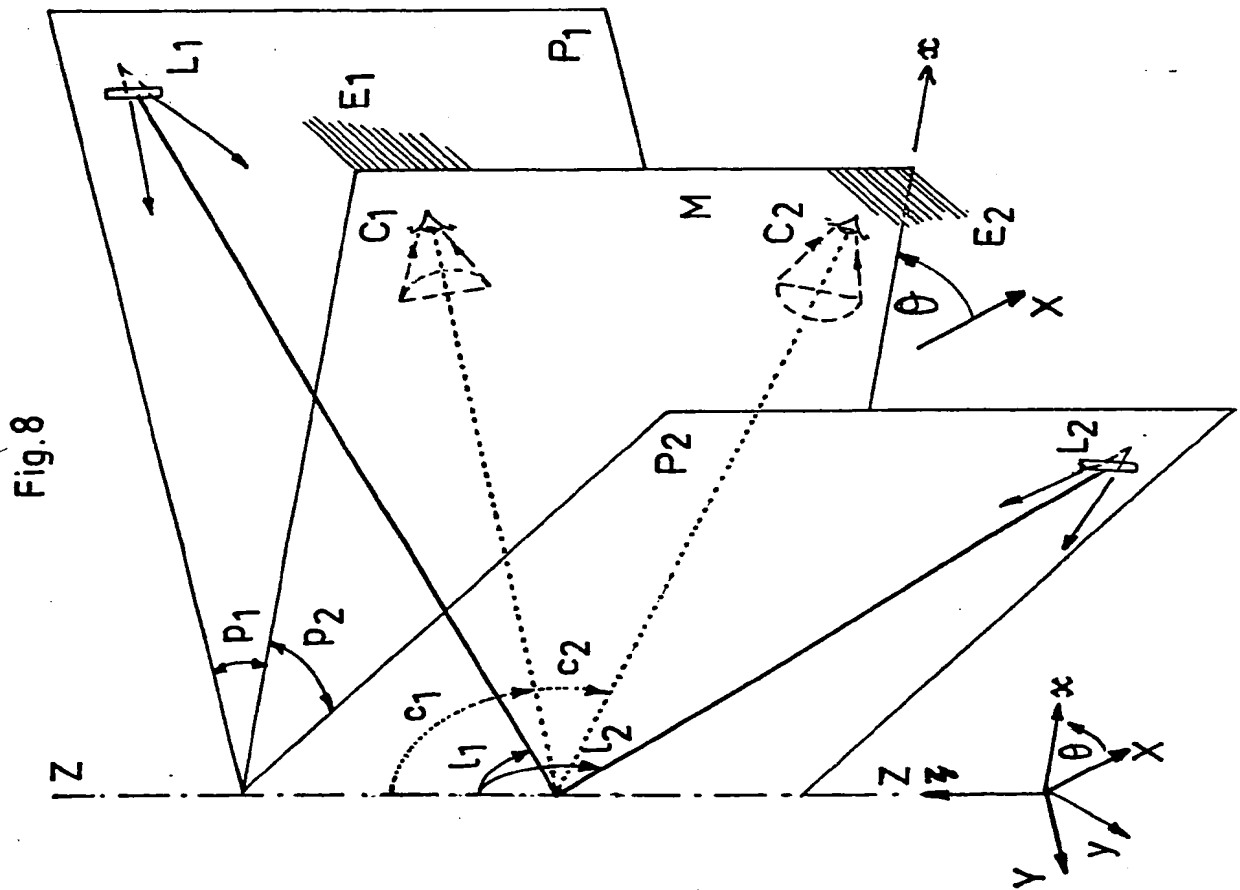


Fig. 6

Fig.7





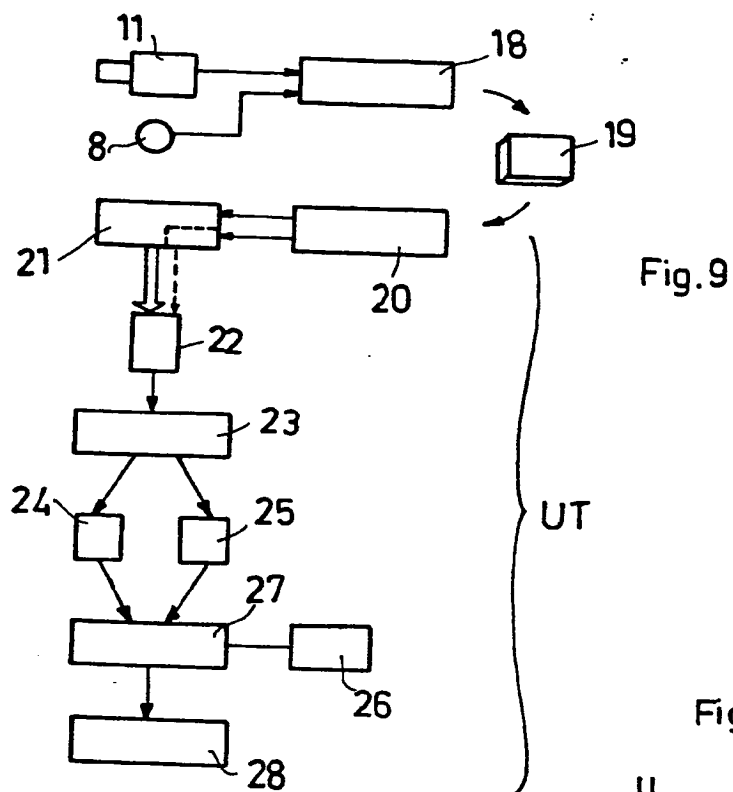
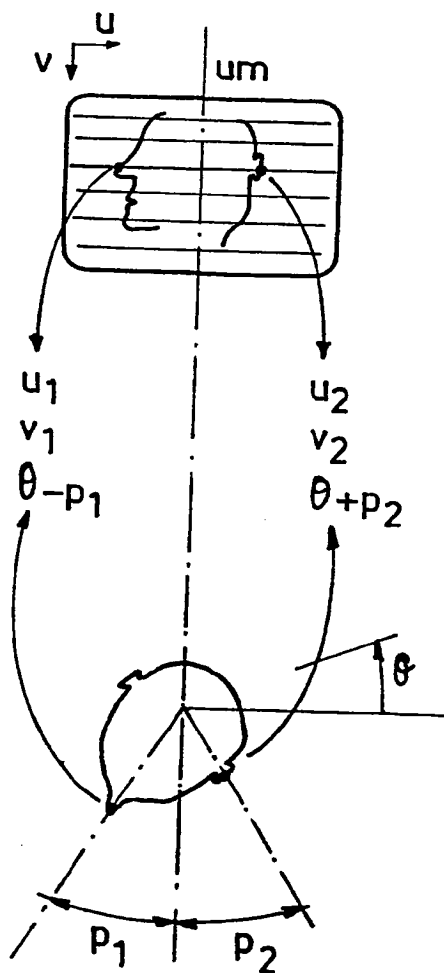


Fig. 10

$$u_1 < u_m < u_2$$



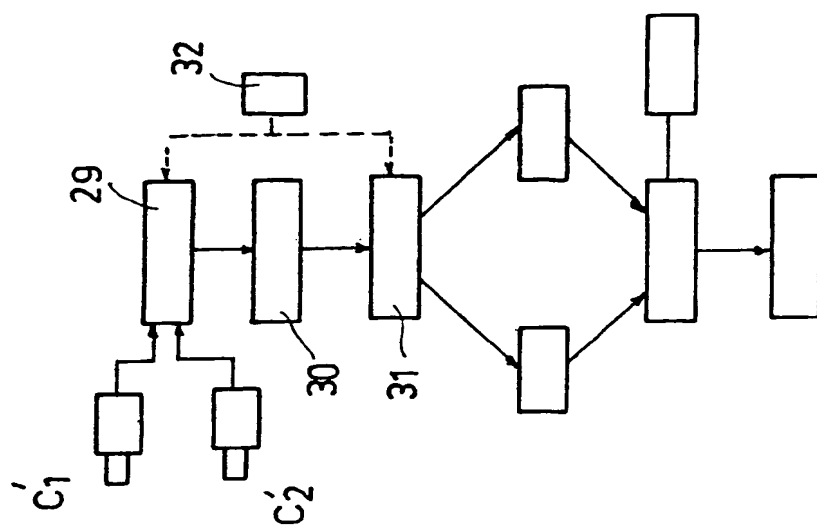
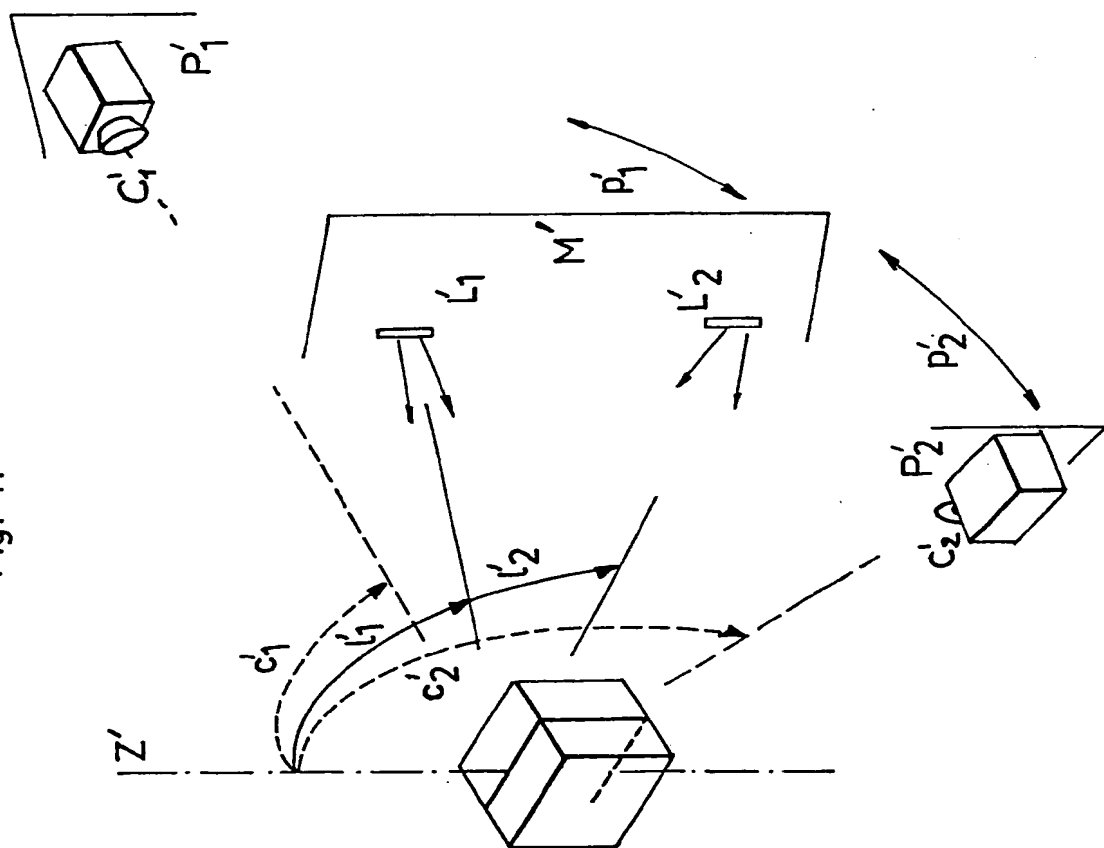


Fig. 12

Fig. 11



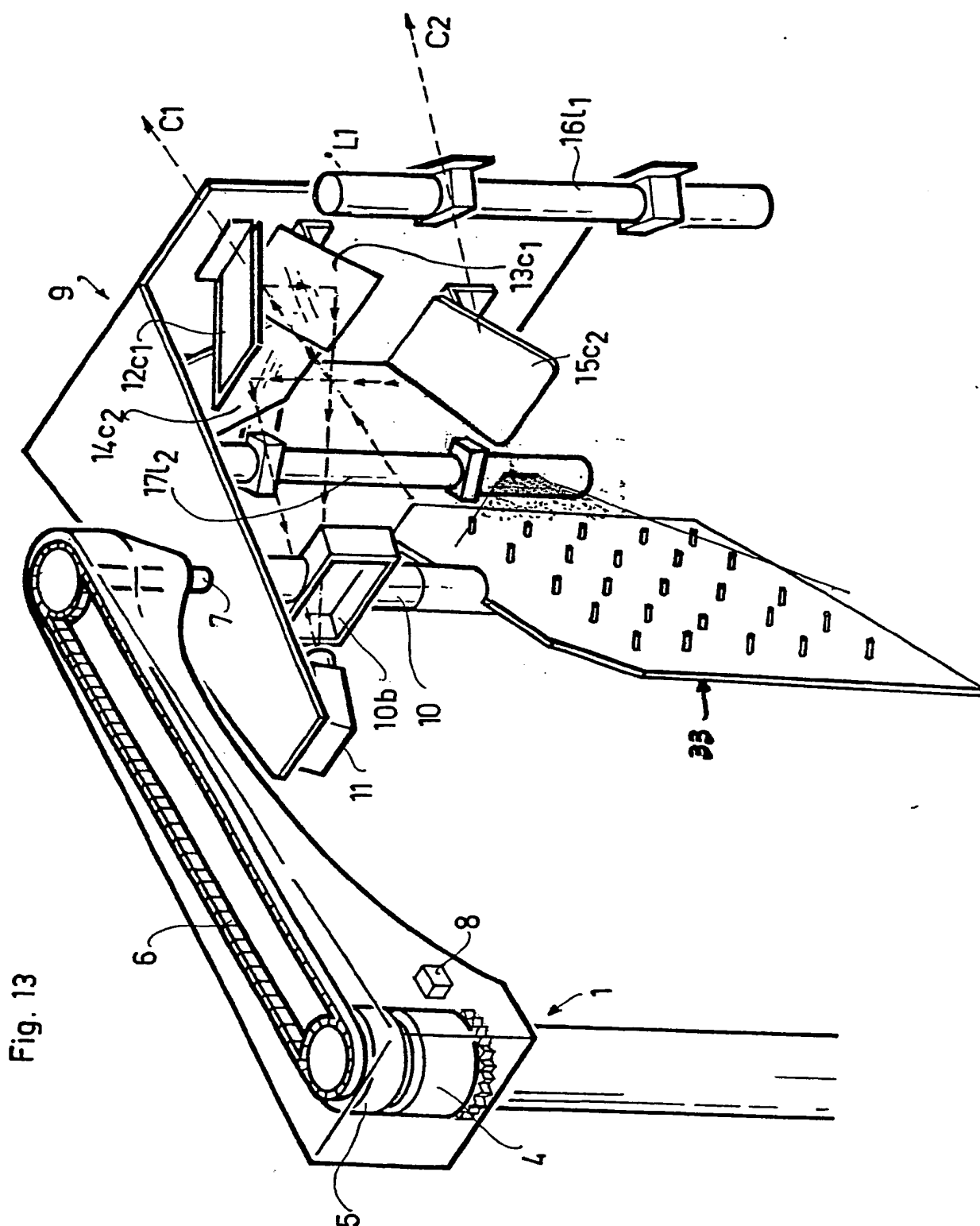


Fig. 13

Fig. 14

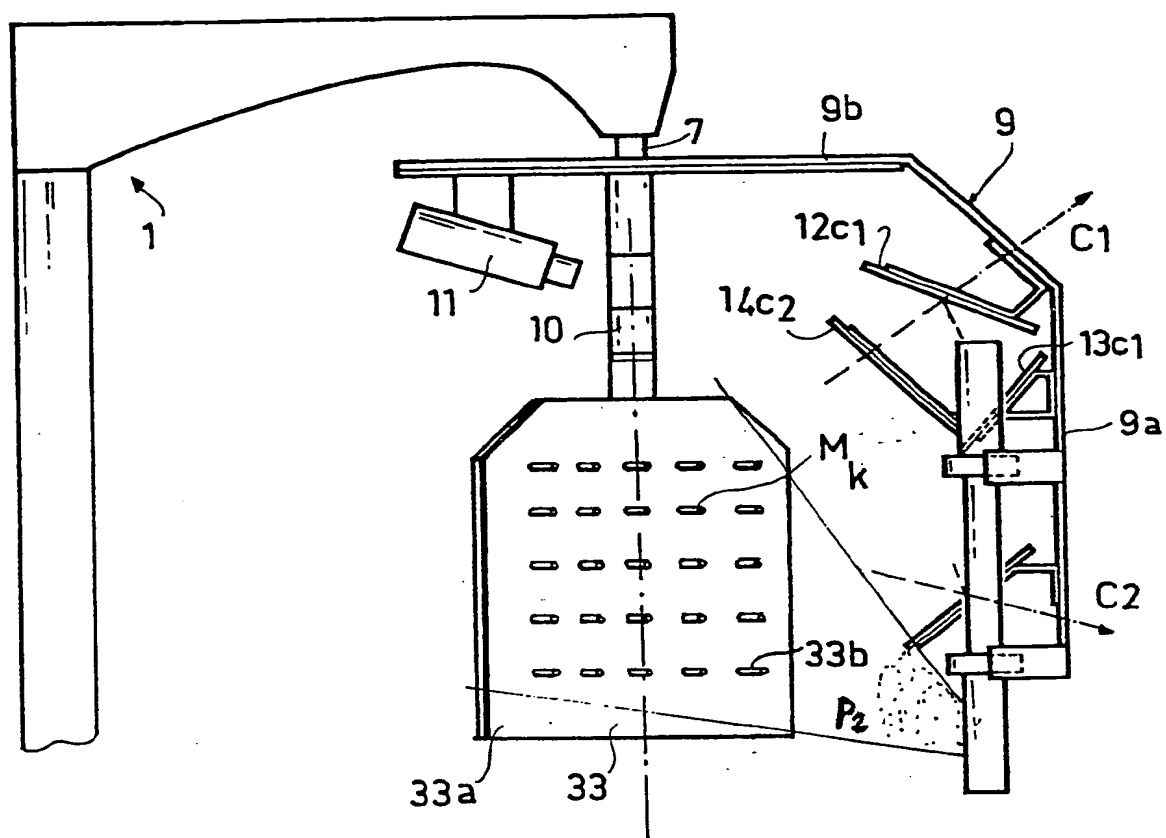


Fig. 16

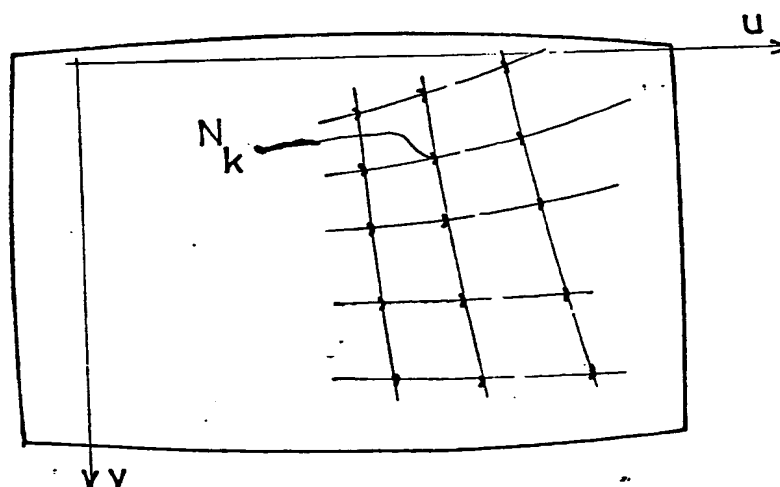


Fig.15a

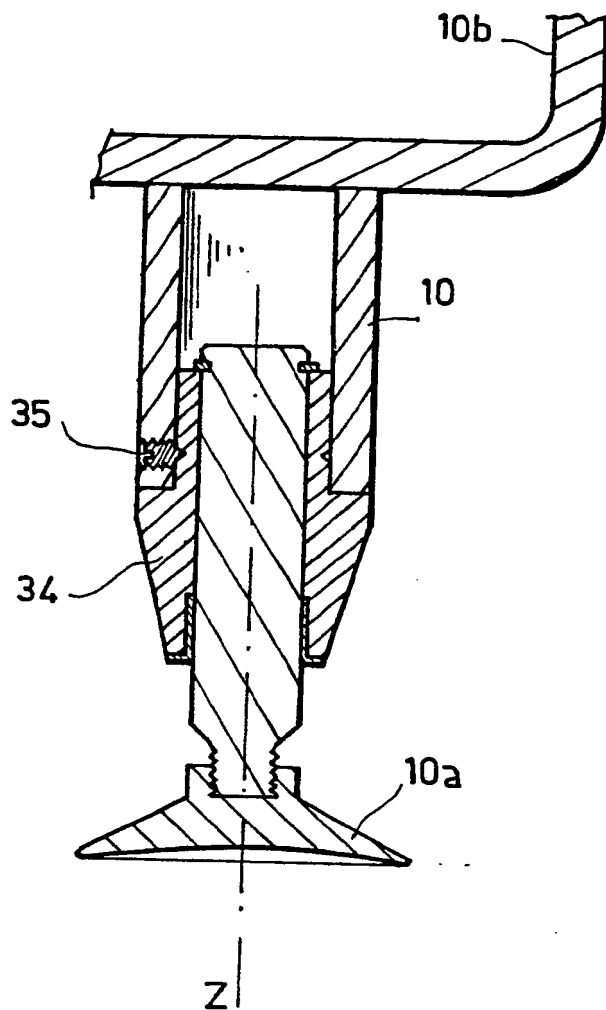
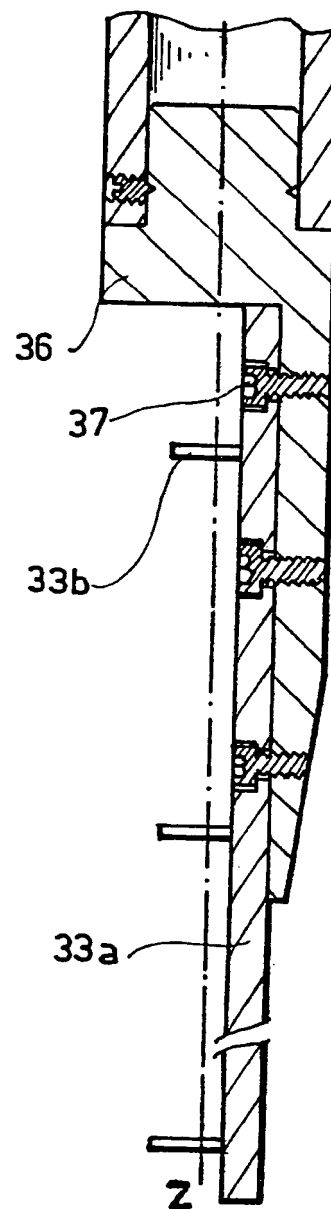


Fig. 15b





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 89 40 0325

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.4)
A,D	EP-A-0 163 076 (KAWASAKI) * Page 7, lignes 4-21; page 13, ligne 26 - page 14, ligne 4; page 30, ligne 5 - page 31, ligne 6; page 32, lignes 18-22; figures * ---	1,2,10, 16,17, 27	G 01 B 11/24 G 05 B 19/42
D,A	WO-A-8 701 194 (ADDLEMAN) * Pages 3-6 * ---	1,10,21, 27	
D,A	FR-A-2 519 138 (MAITRE et al.) * Page 4, ligne 7 - page 6, ligne 30; figures * ---	1,10,21, 27	
A	US-A-3 399 592 (H. BRACHVOGEL et al.) * En entier * ---	1,6	
D,A	FR-A-2 470 415 (OPTION S.A.) * Page 3, lignes 20-31; page 6, ligne 12; figures * ---	1,9	
A	FR-A-2 375 578 (UNITED TECHNOL. CORP.) * Page 2, lignes 1-23; figures * ---	1,6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.4)
A,D	EP-A-0 222 498 (LOUGHBOROUGH) * Colonne 4, lignes 19-32; colonne 5, ligne 45 - colonne 6; figures * ---	1,2	G 01 B G 05 B
A	LU-A- 78 624 (PESCHON) * En entier * -----	1,6	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 06-03-1989	Examineur RAMBOER P.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 01.R2 (7/9402)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☒ OTHER: small text

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)